

PENGARUH VARIASI ARAH SERAT KOMPOSIT BERPENGUAT HIBRIDA *FIBERHYBRID* TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN DENSITAS MATERIAL DALAM APLIKASI *BODY PART* MOBIL

Firman Yasa Utama^{1,a)} Hanna Zakiyya^{2,b)}

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya

Keywords :

Fiberhybrid
Uji tarik
Modulus elastisitas

Abstract :

Aplikasi komposit telah tersebar di banyak bidang, mulai dari bidang kesehatan, transportasi, bangunan dan industri manufaktur. Jenis komposit yang biasa dikenal dengan *fiberglass* terus dikembangkan. Konsep ramah lingkungan memperkuat terus dikembangkannya komposit dengan serat hibrida atau *fiberhybrid* yaitu gabungan antara serat sintesis dengan serat alami. Karakteristiknya cenderung lebih ringan dari pada logam serta ketahanan terhadap lingkungan yang lebih baik. Penelitian ini memberikan salah satu alternatif solusi terhadap masalah emisi gas buang dan menekan konsumsi bahan bakar kendaraan bermotor dengan material *body* yang lebih ringan. Ada dua macam desain *fiberhybrid* dalam penelitian ini, yaitu kombinasi serat gelas (*Woven Roving*) dengan serat rami atau *WR-Ramie* dan serat gelas (*Carbon*) dengan serat rami atau *Carbon-Ramie*. Kekuatan mekanik berupa kuat tarik dan sifat fisis material berupa *density* didapat dengan variasi arah serat 0°, 45°, dan 90°. Dilanjutkan pengujian material terhadap sifat mekanik, yaitu *tensile strength* dan perhitungan sifat fisis untuk mendapatkan hasil *density* material. Hasil pengujian dan pengolahan data yang sudah dilakukan, nilai Kuat Tarik, Modulus Elastisitas, dan elongasi rata-rata terbaik yaitu *WR-Ramie*, berturut-turut 0° = 64,14 MPa; 45° = 50,83 MPa; dan 90° = 41,55 MPa, *Young Modulus* : 1,50 MPa; 6,35 MPa, & 3,23 MPa, dan elongasi 12,68 %; 13,03 %; & 9,21 %. Sedangkan densitas 1,85 g/cm³ sebagai sifat fisis. Sehingga masih perlu riset lanjutan untuk memenuhi kriteria sebagai bodi mobil yaitu kisaran 190–290 MPa dengan rata-rata elongasi 5-20%. Jika sebagai desain material produk *brake lever* dari komposit serat knaf, maka harus memiliki kuat tarik 293-930 MPa, *density* 1,2-1,4 g/cm³, *young modulus* 53 GPa, dan elongasi 1,6-6,9 %. Namun disisi lain hasil penelitian ini telah memiliki kekuatan tarik diatas 33,93 MPa yaitu syarat minimal pembuatan helm SNI untuk *tensile strength* yang diizinkan.

PENDAHULUAN

Konsumsi material yang terus meningkat mengharuskan rekayasawan memikirkan material ramah lingkungan dengan sifat mekanik yang baik. Aktivitas pemenuhan kebutuhan materialpun semakin meningkat dengan kebutuhan karakteristik tertentu yang semakin bervariasi. Penelitian-penelitian dewasa ini mengarah pada pengadaan material tepat guna dimana sifat mekanik yang terbaik bukan lagi menjadi patokan, salah satunya adalah material komposit. Material rekayasa sifat polimer dengan campuran variasi serat ini dapat menghasilkan material yang mampu bentuknya dapat mewakili logam. Sesuai dengan variasi serat dan jenis polimernya, material ini dapat menghasilkan variasi sifat mekanis yang luas seperti pada logam. Terbukti dengan aplikasi komposit yang tersebar di banyak bidang, mulai dari bidang

kesehatan, transportasi, bangunan dan industri manufaktur.

Material komposit merupakan material yang tersusun dari kombinasi dua atau lebih unsur utama yang secara makro berbeda bentuk dengan komposisi yang tidak dapat dipisahkan (Schwartz, 1984). Karakteristiknya yang cenderung lebih ringan dari pada logam serta ketahanan terhadap lingkungan yang lebih baik, membuat material ini dapat menjadi pilihan untuk komponen bodi otomotif. Selain itu proses pembuatannya yang cenderung membutuhkan lebih sedikit energi dari pada logam, membuat material ini lebih ramah lingkungan.

Pada komponen kendaraan, komponen yang paling potensial untuk direduksi adalah komponen struktur utama yaitu bagian lantai, *body* dan rib. Usaha mereduksi berat material pada komponen tersebut dilakukan untuk menekan jumlah konsumsi bahan bakar, maka rasio kekuatan dan densitas material

adalah salah satu sifat penting yang perlu di perhitungkan. Salah satu pilihan solusi adalah mengganti material komponen struktur utama dengan material komposit.

Sifat bahan komposit sangat dipengaruhi oleh sifat dan distribusi unsur penyusun, serta interaksi antara keduanya. Parameter penting lain yang mungkin mempengaruhi sifat bahan komposit adalah bentuk, ukuran, orientasi dan distribusi dari penguat (*filler*) dan berbagai ciri-ciri dari matriks. Sifat mekanik merupakan salah satu sifat bahan komposit yang sangat penting untuk dipelajari. Untuk aplikasi struktur, sifat mekanik ditentukan oleh pemilihan bahan. Sifat mekanik bahan komposit bergantung pada sifat bahan penyusunnya. Peran utama dalam komposit berpenguat serat adalah untuk memindahkan tegangan (*stress*) antara serat, memberikan ketahanan terhadap lingkungan yang merugikan dan menjaga permukaan serat dari efek mekanik dan kimia. Kontribusi serat sebagian besar berpengaruh pada kekuatan tarik (*tensile strength*) bahan komposit.

Secara umum serat yang sering digunakan sebagai *filler* adalah serat buatan seperti serat gelas, karbon, dan grafit. Serat buatan memiliki keunggulan tetapi mahal. Pemakaian serat alam sebagai pengganti serat buatan dapat menjadi alternatif untuk menurunkan biaya produksi. Pada penelitian ini akan dilakukan rekayasa sifat pada serat sintesis yang diperkuat serat alam berupa serat rami untuk aplikasi bodi otomotif.

Penguat komposit pada umumnya mempunyai sifat kurang ulet tetapi lebih kaku serta lebih kuat. Fungsi utama dari penguat adalah sebagai penopang kekuatan dari komposit, sehingga tinggi rendahnya kekuatan komposit sangat tergantung dari penguat yang digunakan, karena tegangan yang dikenakan pada komposit mulanya diterima oleh matrik akan diteruskan kepada penguat, sehingga penguat akan menahan beban sampai beban maksimum. Oleh karena itu penguat harus mempunyai tegangan tarik dan modulus elastisitas yang lebih tinggi daripada matrik penyusun komposit.

Matriks adalah fasa dalam komposit yang mempunyai bagian atau fraksi volume terbesar (dominan). Matrik, umumnya lebih ulet tetapi mempunyai kekuatan dan kekakuan yang lebih rendah. Matriks mempunyai fungsi sebagai berikut :

- 1) Mentransfer tegangan ke serat.
- 2) Membentuk ikatan koheren, permukaan matrik/serat.
- 3) Melindungi serat.
- 4) Memisahkan serat.
- 5) Melepas ikatan.
- 6) Tetap stabil setelah proses manufaktur.

Tujuan dibuatnya komposit yaitu memperbaiki sifat mekanik atau sifat spesifik tertentu,

mempermudah desain yang sulit pada manufaktur, keleluasaan dalam bentuk atau desain yang dapat menghemat biaya produksi, dan menjadikan bahan lebih ringan. Komposit yang diproduksi oleh suatu instansi atau pabrik biasanya dapat diprediksi sifat mekanik dari bahan komposit berdasarkan bahan matrik dan bahan penguatnya (Callister, 2007). Adapun beberapa sifat mekanik yang dapat diprediksi dari komposit yaitu kekuatan tarik dan kelayakan sebagai material komposit (validitas komposit). Dalam komposit kekuatan tarik dipengaruhi oleh kekuatan *interface*-nya. Dari pengujian kekuatan *interface* sangat sulit ditentukan karena prosesnya yang tidak sederhana. Sehingga hasil pengujian juga sangat sulit ditentukan karena adanya faktor teknis pembuatan spesimen. Untuk komposit polimer/serat, perbedaan campuran unsur matrik dan perbedaan serat juga menghasilkan kekuatan *adhesive* yang berbeda sehingga tidak jarang serat akan putus sebelum terlepas dari matriknya (Matthew, 1999).

Adapun besarnya kekuatan tarik yang dihasilkan oleh komposit polimer/serat dapat prediksi dengan menggunakan persamaan 2.1. Berdasarkan persamaan ini dapat digunakan oleh peneliti sejauh untuk mengetahui sejauh mana besarnya kekuatan tarik yang dihasilkan oleh komposit berdasarkan matrik dan penguat penyusunnya. Berikut ini persamaan *tensile prediction*.

$$\sigma_c = \sigma_m V_m + \sigma_f V_f \quad (1)$$

dengan:

σ_c = kekuatan tarik komposit (MPa)

σ_m = kekuatan tarik matrik (MPa)

σ_f = kekuatan tarik penguat (MPa)

V_m = fraksi volume matrik

V_f = fraksi volume matrik

Jumlah kandungan serat dalam komposit, merupakan hal yang menjadi perhatian khusus pada komposit berpenguat serat. Untuk memperoleh komposit berkekuatan tinggi, distribusi serat dengan matrik harus merata pada proses pencampuran agar mengurangi timbulnya *void*. Untuk menghitung fraksi volume parameter yang harus diketahui adalah densitas resin, densitas penguat, massa matrik dan massa penguat. Adapun fraksi volume yang ditentukan dengan persamaan :

$$W_c = \frac{w_f}{w_c} = \frac{\rho_f V_f}{\rho_c V_c} = \frac{\rho_f V_f}{\rho_c} \quad (2)$$

$$V_f = \frac{\rho_c}{\rho_f} W_f = 1 - V_m \quad (3)$$

Jika selama pembuatan komposit diketahui berat penguat dan berat matrik, serta densitas penguat dan densitas matrik, maka fraksi volume dan fraksi penguat dapat dihitung dengan persamaan:

$$V_f = \frac{w_f / \rho_f}{w_f / \rho_f + w_m / \rho_m} \quad (4)$$

dengan :

W_f = fraksi berat penguat

w_f = berat penguat (g)

w_c = berat komposit (g)

ρ_f = densitas penguat (gr.cm⁻³)

ρ_c = densitas komposit (gr.cm⁻³)

v_f = fraksi volume penguat

v_m = fraksi volume matrik

V_f = volume penguat (cm³)

V_m = volume matrik (cm³)

Berdasarkan bentuk penguatnya, secara garis besar komposit diklasifikasikan menjadi tiga macam (Jones, 1975), yaitu: komposit partikel, komposit serat dan komposit lapis.

Komposit Partikel (*Particulate Composites*)

Adalah komposit yang menggunakan partikel serbuk sebagai penguatnya dan terdistribusi secara merata dalam matriknya. Komposit partikel banyak dibuat untuk bahan baku industry. Proses produksi yang mudah juga menjadi salah satu pertimbangan bila komposit akan diproduksi massal. Kelayakan bahan komposit partikel yang telah dibuat dapat diketahui dengan melakukan pendekatan uji validitas. Adapun pendekatan yang dimaksud yaitu dengan mengetahui modulus elastisitas komposit dalam rentang batas atas (*upper bound*) dan batas bawah (*lower bound*). Berikut ini persamaan matematis yang digunakan :

Upper bound

$$E_c = E_m V_m + E_f V_f \quad (5)$$

Lower bound

$$E_c = (E_m E_f) / (V_m E_f + V_f E_m) \quad (6)$$

dengan :

E_c = modulus elastisitas komposit (MPa)

E_m = modulus elastisitas matriks (MPa)

E_f = modulus elastisitas filler (MPa)

V_m = fraksi volume matriks

V_f = fraksi volume filler

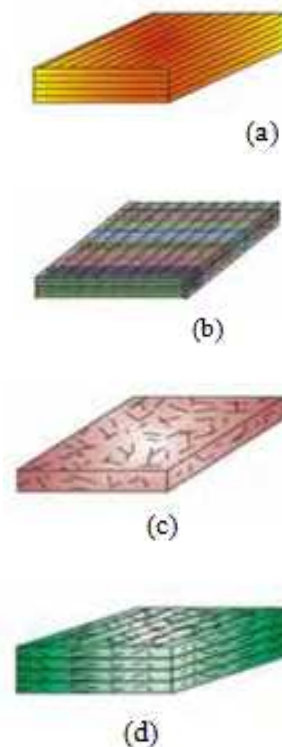
Komposit Serat

Komposit serat adalah komposit yang terdiri dari serat dan matriks. Fungsi utama dari serat adalah sebagai penopang kekuatan dari komposit, sehingga tinggi rendahnya kekuatan komposit sangat tergantung dari serat yang digunakan, karena tegangan yang dikenakan pada komposit mulanya diterima oleh

matrik akan diteruskan kepada serat, sehingga serat akan menahan beban sampai beban maksimum. Oleh karena itu serat harus mempunyai tegangan tarik dan modulus elastisitas yang lebih tinggi daripada matrik penyusun komposit. Pemilihan serat atau penguat penyusun pada komposit juga harus mempertimbangkan beberapa hal salah satunya harga. Hal ini penting karena sebagai pertimbangan bila akan digunakan pada skala produksi besar.

Jenis komposit serat terbagi menjadi 4 macam yaitu

- 1) *Continuous fiber composite* (komposit diperkuat dengan serat kontinue),
- 2) *Woven fiber composite* (komposit diperkuat dengan serat anyaman),
- 3) *Chopped fiber composite* (komposit diperkuat serat pendek/acak),
- 4) *Hybrid composite* (komposit diperkuat serat kontinyu dan serat acak).



Gambar 1 Jenis komposit serat; (a) *Continuous fiber composite*; (b) *Woven fiber composite*; (c) *Chopped fiber composite*, (d) *Hybrid composite*

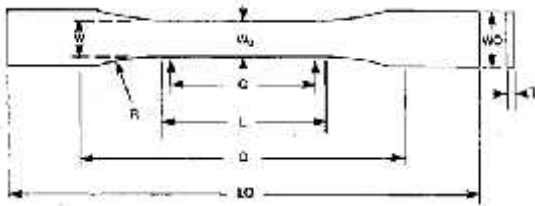
Komposit lapis (*laminates composites*)

Jenis komposit ini terdiri dari dua lapis atau lebih yang digabung menjadi satu dan setiap lapisnya memiliki karakteristik sifat sendiri. Contoh komposit ini yaitu bimetal, pelapisan logam, kaca yang dilapisi, dan komposit lapis serat.

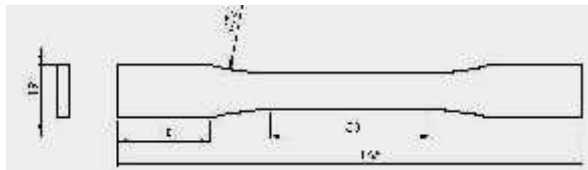
METODOLOGI PENELITIAN

Desain Spesimen Benda Uji

Cetakan spesimen terbuat dari kaca sebagai alas dan akrilik sebagai pembentuk rongga. Desain spesimen yang akan digunakan disesuaikan dengan standart pengujian material komposit ASTM D 638M - 84 M-1 *Test Method For Tensile Properties of Plastics*. Skema spesimen dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 2. Desain Spesimen sesuai ASTM D 638M



Gambar 3 Desain Spesimen sesuai ASTM D 638M yang akan dibuat

Keterangan gambar :

Tabel 1 ukuran cetakan ASTM D 638M – 84 M-I, T = 5 mm

Dimensi	Panjang (mm)	Toleransi (mm)
W : <i>width of narrow section</i>	13	± 0,5
Wo : <i>width of overall</i>	19	± 0,5
Lo : <i>length of overall</i>	165	No max
G : <i>gage length</i>	50	± 0,25
D : <i>distance between grips</i>	115	± 5
R : <i>radius of fillet</i>	76	± 1

Bahan

Matriks

Matriks merupakan bahan perekat yang berfungsi untuk merekatkan serat gelas. Matriks yang akan digunakan adalah matrik epoksi.

Bahan Pembantu

Bahan pembantu digunakan untuk membantu proses pembuatan benda uji. Bahan yang dimaksud adalah PVA, *mirror glass wax*, katalis dan lain sebagainya.

Asumsi

Asumsi di sini dimaksudkan pemberian tanda hasil spesimen yang sudah jadi sesuai warna dan arah serat yang dibuat. Kami menentukan bentuk 0^0 (warna biru), 45^0 (warna kuning), dan 90^0 (warna merah).

Sedangkan arah serat 0^0 (searah lebar spesimen), 45^0 (bersilang membentuk sudut 45^0), dan 90^0 (tegak lurus lebar spesimen).

Tabel 2 Komposisi serat

Variabel Bebas	0^0	45^0	90^0
Spesimen Uji dan Serat Hibrida			

Tabel 3 Komposisi serat

Variabel Bebas	0^0	45^0	90^0
Serat Woven Rooling & Serat alami rami	1 : 1 (g)	1 : 1 (g)	1 : 1 (g)
Serat Karbon & Serat alami rami	1 : 1 (g)	1 : 1 (g)	1 : 1 (g)
Untuk 2 spesimen			

Tabel 4 Komposisi komposit uji

Komposisi		Hasil
Bahan utama	Ukuran	
Resin	20 ml	Untuk 3 spesimen
Epoxy A	20 ml	
Epoxy B	20 ml	
Catalyst	5 ml	

Persiapan Alat dan Bahan

Beberapa peralatan yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut:

- Timbangan digital
- Gelas ukur
- Gelas dan sendok pengaduk
- Alat bantu lain: alat yang digunakan meliputi *cutter*, gunting, kuas, pisau, spidol, penggaris, gergaji, kaca, akrilik, puasdan lain-lain.
- Cetakan spesimen:

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- Serat gelas

Serat gelas yang digunakan berjenis *E-Glass* dengan bentuk *chopped strand mat (CSM)*. Bentuk *CSM* dibuat dengan cara memotong serat gelas yang masih berbentuk *roving* atau serat panjang menggunakan gunting hingga ukuran panjang serat sesuai dengan yang diinginkan.

- Epoxy Resin

Sebagai matriks pada penelitian ini digunakan resin jenis epoksi yakni Epoxy Resin dengan tipe

BisphenolA-epichlorohydrin dicampurkan dengan Epoxy Hardener tipe *Polyaminoamide*

c) Katalis

Katalis yang digunakan memiliki senyawa *Metyl Etyl Keton Peroksida*.

Pembuatan Spesimen

Langkah-langkah pembuatan sampel komposit dengan metode *hand lay-up*. Adapun langkah-langkahnya sebagai berikut:

1. Menyiapkan alas cetakan dari kaca dan penutup
2. Alas cetakan yang telah disiapkan diberi pembatas sesuai dengan luasan yang telah ditentukan
3. Alas cetak dan penutup dibersihkan dari kotoran
4. Selanjutnya seluruh luasan alas cetak dan penutup diolesi dengan PVA, setelah 5 menit diolesi *mirror wax glaze*. Hal ini berguna agar benda tidak lengket dengan cetakan.
5. Setelah dilakukan pengolesan dengan *mirror wax glaze* maka komposit sudah bisa dicetak.
6. Serat ditimbang dengan jumlah sesuai dengan fraksi volumenya terhadap cetakan dan densitasnya.
7. Matrik juga ditimbang sesuai jumlah fraksi volume terhadap cetakan dan densitasnya.
8. Serat dan matrik yang sudah sesuai takaran dicampur ke dalam gelas lalu diaduk pelan-pelan dengan sendok hingga merata.
9. Tambahkan katalis dengan perbandingan sesuai fraksi volume resin.
10. Aduk pelan-pelan hingga tercampur rata kira-kira selama 2 menit.
11. Tuangkan campuran bahan tersebut ke dalam cetakan yang sudah disiapkan dari malam dan kaca yang telah dibentuk sesuai standar ASTM D 638M-84 M I.
12. Ratakan permukaan campuran pada cetakan.
13. Tunggu hingga kering selama kurang lebih 24 jam.
14. Spesimen yang sudah kering dilepas dari cetakan kemudian bagian dihaluskan bagian-bagian permukaannya dengan alat kikir dan amplas.
15. Spesimen komposit yang telah dihaluskan dan diukur geometri awalnya dikatakan sebagai spesimen siap uji.

Uji Karakterisasi Komposit

Spesimen komposit yang siap uji kemudian diuji kekuatan mekanik berupa uji kekerasan dan uji tarik berupa defleksi maksimum material komposit, dan uji fisis *density* dan konduktivitas termal untuk memperoleh karakter yang ada pada material. Adapun langkah-langkah pengujian tersebut adalah sebagai berikut :

a. Uji tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik (*tensile strength*), kekuatan luluh (*yield strength*), dan perpanjangan (*elongation*) dari material

komposit polimer/hibrida. Bahan komposit polimer-hibrida (serat gelas dan serat alami) yang diuji dibuat sampel dengan bentuk dan ukuran mengacu pada standar uji ASTM 638 M-84 M I. Langkah-langkah uji tarik pada bahan komposit adalah sebagai berikut :

1. Sampel uji dipasang pada mesin uji tarik.
2. Dijepit dengan pencekam pada ujung-ujungnya.
3. Ditarik ke arah memanjang secara perlahan.
4. Selama penarikan setiap saat tercatat dengan grafik yang tersedia pada mesin sampai sampel putus.
5. Amati dan catat gaya pada saat titik luluhnya dan titik *ultimatenya* juga pertambahan panjang dari sampel uji setelah putus.
6. Hasil uji tarik berupa grafik beban yang diberikan terhadap pertambahan panjang komposit.
7. Grafik tersebut diubah menjadi grafik *stress-strain*.
8. Bila pada grafik *stress-strain* perubahan daerah elastis ke daerah plastis tidak dapat diamati dengan jelas, maka untuk titik *yield strength* pada kurva ditentukan dengan metode *offset*.

Dari grafik *stress-strain* akan diperoleh data kekuatan luluh komposit yang selanjutnya digunakan untuk menghitung modulus elastisitas. Adapun modulus elastisitas berbanding lurus dengan beban yang diberikan dan berbanding terbalik terhadap elongasi yang terjadi pada bahan komposit.

b. Metode Analisa Data

Data-data yang diperoleh dalam penelitian ini selanjutnya diolah dan dianalisa. Adapun langkah-langkah dalam pengolahan dan analisa data yaitu sebagai berikut :

1. Data yang diperoleh setelah uji tarik digunakan dalam perhitungan mencari nilai kuat tarik termasuk modulus elastisitas komposit.
2. Melalui uji *density* diperoleh data densitas (kerapatan massa) dan kemampuan untuk memindahkan kalor melalui suatu benda.
3. Data hasil eksperimen yang sudah dilakukan akan dibandingkan satu sama lain dengan data ideal. Jika memungkinkan akan dibandingkan dengan sifat mekanik komposit berpenguat lain, misalnya dengan serat bambu.
4. Selanjutnya menganalisa hasil perbandingan untuk mengetahui sejauh mana pengaruh fraksi volume penguat yang sudah dibuat.
5. Menentukan komposit yang memiliki sifat ideal yang diinginkan yaitu kuat, kaku dan ringan.
6. Menentukan komposit yang dapat digunakan sebagai alternatif bahan baku industri yaitu sebagai alternatif pengganti logam.
7. Menyimpulkan hasil eksperimen

c. Teknik Analisis Data

Data yang sudah terkumpul di input ke dalam tabel, lalu ditampilkan dalam bentuk grafik. Data hasil

penelitian tersebut dibandingkan antara kelompok standar acuan atau berdasarkan data penelitian sebelumnya dengan kelompok eksperimen.

Analisis data menggunakan metode deskriptif dengan cara menggambarkan data yang telah terkumpul sebagaimana adanya dan disajikan melalui tabel, grafik, diagram lingkaran, dan pictogram. Data-data dari hasil eksperimen yang telah kita peroleh, diolah menjadi grafik dan dilakukan perhitungan secara teoritis sehingga muncul perbandingan hasil akhirnya terhadap hasil persamaan yang dibuat menggunakan bantuan program Microsoft Excel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahap Pembuatan Spesimen

Tahap pembuatan spesimen ini dilakukan hingga beberapa kali *trial* sesuai prosedur yang ada sampai mendapatkan hasil yang diinginkan



Gambar 4 Beberapa hasil percobaan spesimen *fiberhybrid*



Gambar 5 Hasil spesimen *fiberhybrid* (Wofen Roving-Ramie) siap uji



Gambar 6 Hasil spesimen *fiberhybrid* (Carbon-Ramie) siap uji

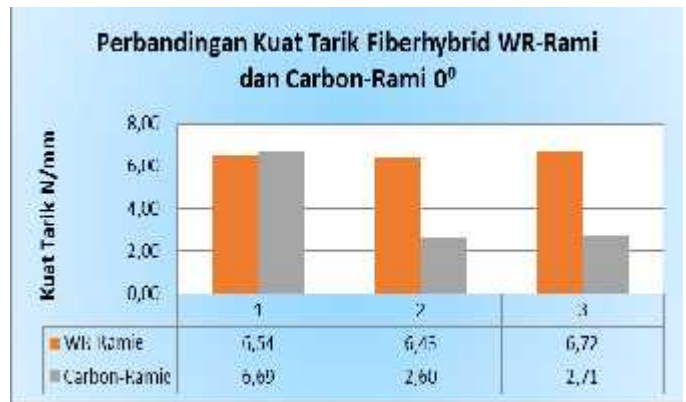
Tahap Pengujian

Pada tahap ini dilakukan pengujian tarik terhadap spesimen benda kerja menggunakan GOTECH Universal Testing Machine.

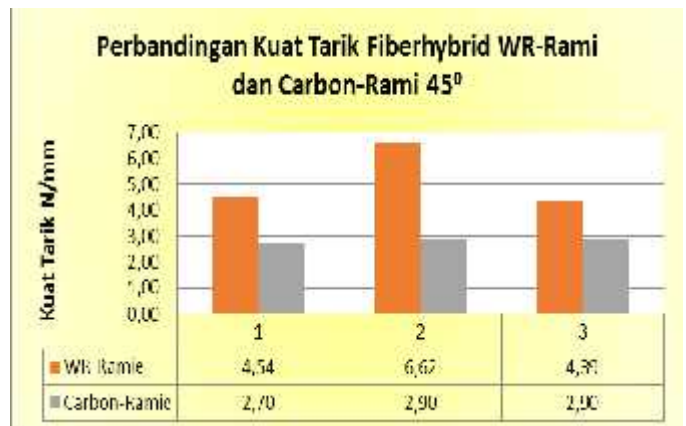


Gambar 7. GOTECH Universal Testing Machine

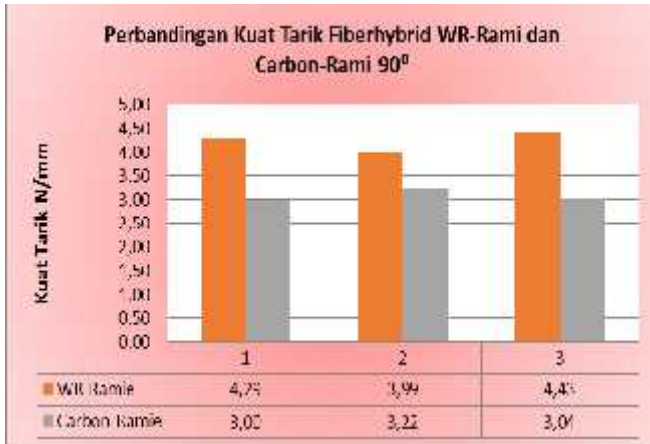
Hasil Perbandingan Kuat Tarik *Fiberhybrid* (WR-Ramie dan Carbon-Ramie)



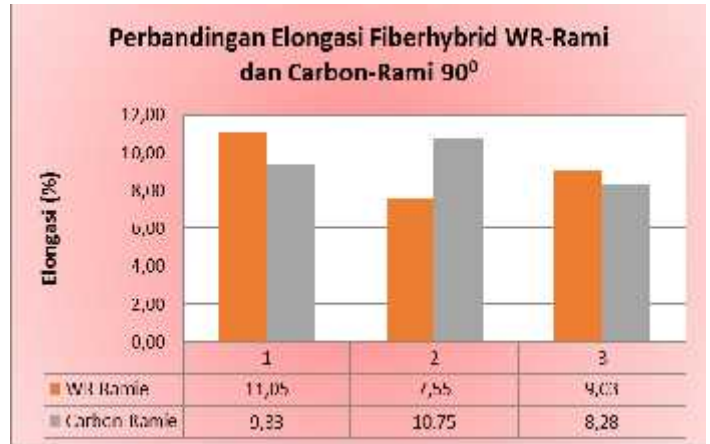
Gambar 8 Grafik Perbandingan Kuat Tarik *fiberhybrid* arah serat 0°



Gambar 9 Grafik Perbandingan Kuat Tarik *fiberhybrid* arah serat 45°

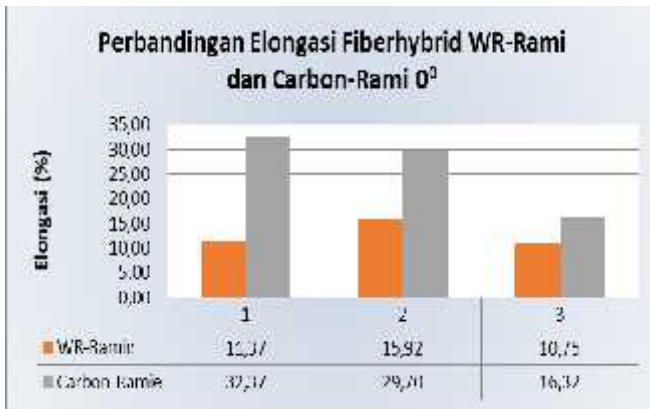


Gambar 10 Grafik Perbandingan Kuat Tarik *fiberhybrid* arah serat 45⁰



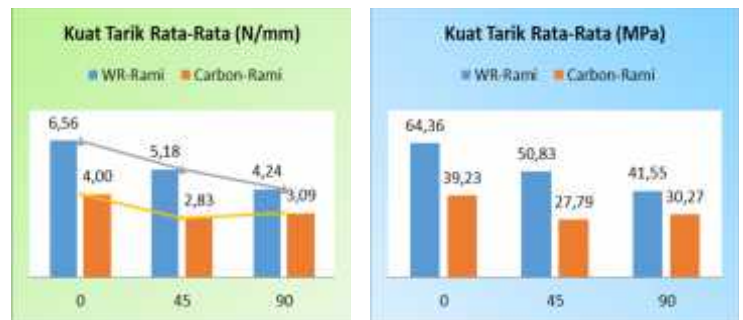
Gambar 13 Grafik Perbandingan Elongasi *fiberhybrid* arah serat 90⁰

Hasil Perbandingan Elongasi *Fiberhybrid* (WR-Ramie dan Carbon-Ramie)

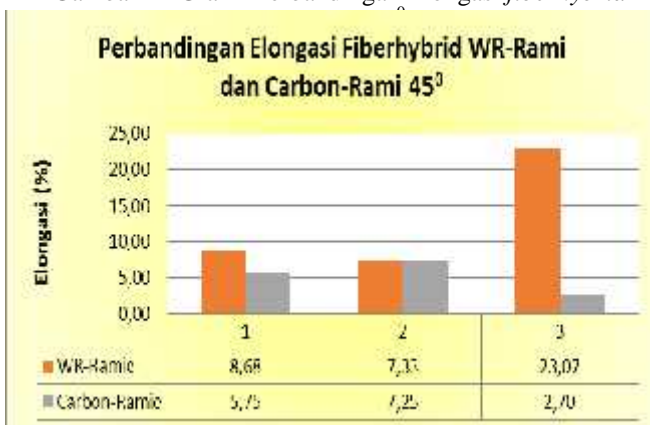


Gambar 11 Grafik Perbandingan Elongasi *fiberhybrid*

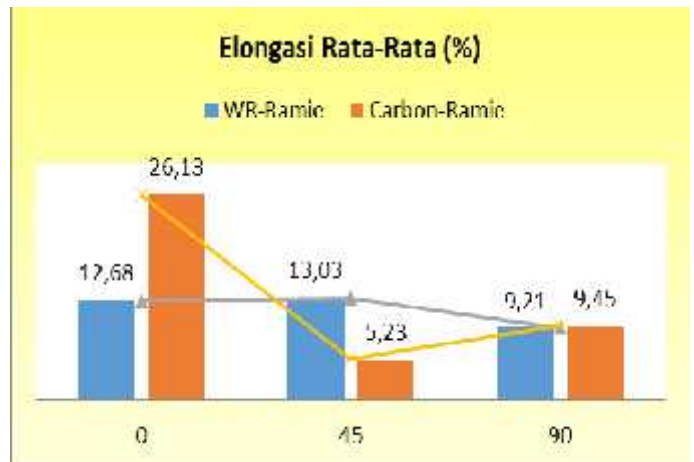
Hasil Kuat Tarik Rata-rata (N/mm & Mpa) dan Elongasi Rata-rata (%) *Fiberhybrid* (WR-Ramie dan Carbon-Ramie)



Gambar 14 Grafik Kuat Tarik Rata-rata (N/mm) dan (MPa)



Gambar 12 Grafik Perbandingan Elongasi *fiberhybrid* arah serat 45⁰



Gambar 15 Grafik Elongasi Rata-rata (%)

XRD Characterization

The structure of nanoparticles was characterized by X-ray diffraction apparatus with using monochromatic CuK radiations. The measurement of nanoparticles spectrum was performed for 2θ range from 3° to 90° with a step of 0.02° and a scan speed of 5.0 degree/minute. As shown by the XRD spectrum in Figure 4.a, the strong diffractions are demonstrated at 32.68° ; 36.90° ; 45.84° ; and 67.26° for Al_2O_3 nanoparticles. This diffraction pattern has also been shown by previous study [18]. Crystalline structure of CuO nanoparticles was measurement at the same condition as shown in Figure 4.b. Diffraction patterns show different 2θ at 32.04° , 35.62° , 38.82° , 48.90° , 61.74° , 66.48° , dan 68.18° . The peak diffractions of CuO nanoparticles are consistent with standard data from JCPDS database. According to all peak diffractions, this pattern refers for CuO nanoparticles appropriate with specification data from Sigma-Aldrich.

Timofeeva et al. [2] have characterized of rechargeable nanofluids by using X-ray [absorption spectroscopy](#) (XAS), however, due to the lack of the apparatus this measurement was not performed in this work. The X-ray [absorption spectroscopy](#) measurement is a widely used technique for determining the electronic structure of matter including electro-active material of liquid energy storage medium in NFB system. Their experiment involved in-situ XAS of electro-active materials (nanofluids electrode). The results were compared to in-situ XAS of the same electroactive nanoparticles in solid state battery.

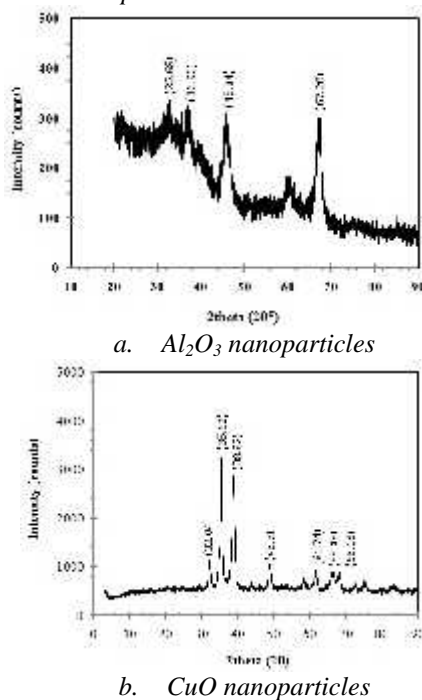


Figure 3. XRD pattern of metal oxide nanoparticles

TEM Characterization

To identify particles morphology, transmission electron microscopy with an acceleration voltage of 120 kVa was performed. The results show that alumina and copper oxide nanoparticles mainly consist of spherical nanoparticles with diameter of 13 and $30 > 40$ nm, respectively. Alumina and copper oxide nanoparticles tend to form aggregation as shown in Figures 5.a and 5.b, respectively. The upper right insets of the figures show the corresponding selected area electron diffraction (SAED) pattern of nanoparticles observed in this work.

FTIR Characterization

To confirm nanoparticles component, FTIR (Fourier Transform Infrared) analysis was carried out using resolution 2 cm^{-1} and 45 number of scans. There are nine vibrations exhibited at FTIR spectra as shown in Figure 6. For below 600 cm^{-1} in wave numbers, these vibrations are at 427.25 , 517.91 , and 553.59 cm^{-1} . These vibrations confirm clearly that the observed metal oxide constitutes aluminum oxide component. Meanwhile, FTIR spectrum of CuO nanoparticles exhibits only three main vibrations occurring at 458.11 , 536.23 , and 583.49 cm^{-1} as shown in Figure 7. This confirms that the formation of particles component are copper (II) oxide.

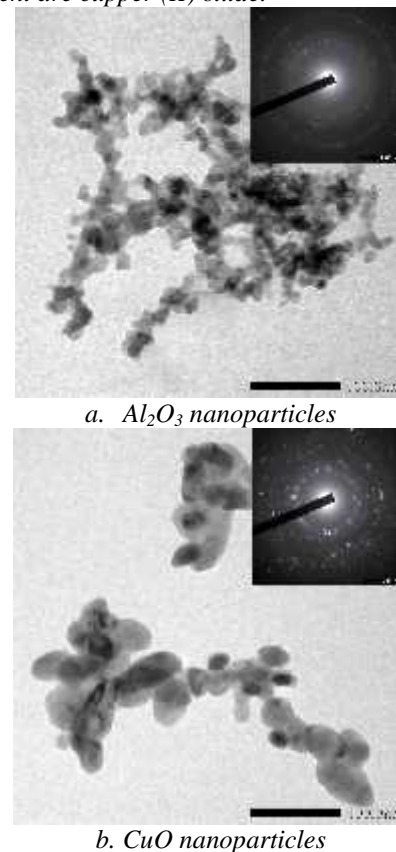


Figure 1. TEM image of the observed nanoparticles

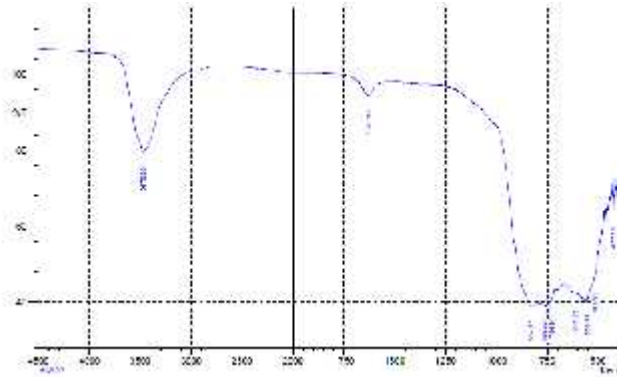


Figure 2. FTIR spectra of alumina nanoparticles

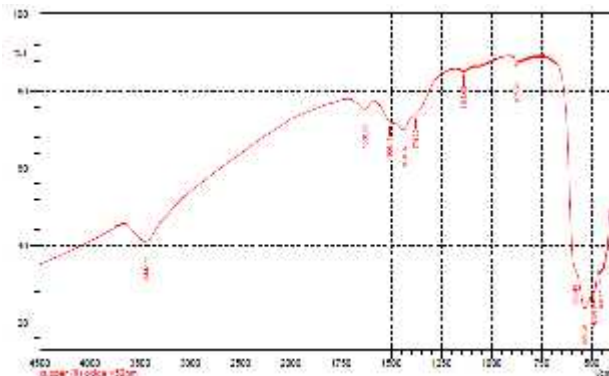


Figure 3. FTIR spectra of copper oxide nanoparticles

Electrochemical Testing

The cyclic voltammetry measurement is generally used to analyze the electrochemical properties of an ionic solution [19]. It needs the electrode-solution as a capacitor therefore a transient current can flow. As the potential of the electrode is varied with suitable range voltage, ions move to the surface to form an electric double layer. In electrochemical measurement, capacitance is a crucial factor because it provides current rise during the charging of the capacitor. Electrochemical testing of the observed nanofluids was performed by using potentiostat apparatus.

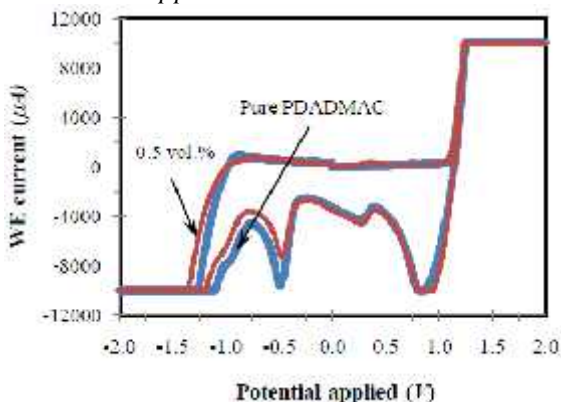
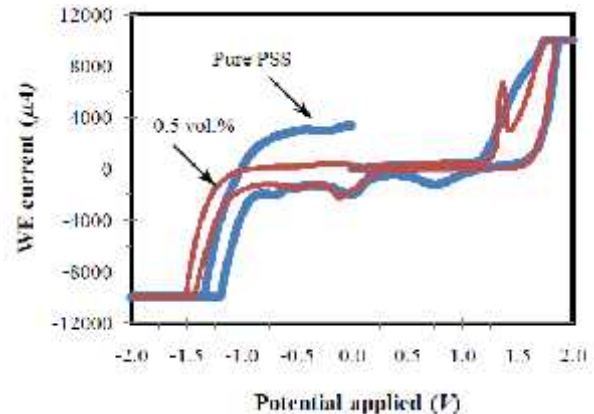
a. $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{PDADMAC}$ nanofluidsb. CuO/PSS nanofluids

Figure 8. Cyclic voltammograms

The common three-electrode cell setup was used in this experimental study. In this setup, the working electrode was platinum disc, the reference electrode was Ag/AgCl, and platinum wire was used as the counter electrode. In addition, the applied potential range from -2.0 to $+2.0$ V was used in the cyclic voltammetry tests. Measurement between potential limits of -2.0 and $+2.0$ V relative to Ag/AgCl at a scan rate of 0.1 V/s was performed to determine a cyclic voltammogram. An acquisition device was used to monitor continuously the potential difference between the reference electrode and working electrode and the current flowing between the counter electrode and working electrode. The results show that there is a significant different in cyclic profile between PDADMAC and PSS polyelectrolyte solution. Reduction-oxidation (redox) process is demonstrated by PSS-based nanofluids (Figure 8.a), however, redox phenomenon does not appear for PDADMAC-based nanofluids (Figure 8.b). All cyclic profiles of the observed nanofluids depend highly on their base ionic solutions. Dispersing nanoparticles with particles concentration of 0.5 vol.% is able to shift polyelectrolyte's cyclic profile. It indicates that the existence alumina and copper oxide nanoparticles into polyelectrolyte solution could provide a significant impact on electrochemical behavior.

CONCLUSIONS

This preliminary study has investigated experimentally both metal oxide nanoparticles characterization and electrochemical behavior of polyelectrolyte-based nanofluids. To ensure metal oxide component used in this work, fundamental characterizations including X-ray diffraction, transmission electron microscopy, and Fourier transform infrared measurement were performed. All characterizations showed that the observed metal oxide materials used in this work are alumina (Al_2O_3)

and copper oxide (CuO) nanoparticles. To prepare nanofluids, aqueous Poly(diallyldimethylammonium chloride) solution (PDADMAC) and Poly(sodium 4-styrenesulfonate) (PSS) with concentration of 20 wt.% were used as base fluids. Accordance with two-step technique procedure, alumina and copper oxide nanoparticles were dispersed into PDADMAC and PSS ionic solution with volume fraction of 0.5 vol.%. To analyze electrochemical behavior of the prepared nanofluids, the general cyclic voltammetry measurement was used. The results show that redox process is demonstrated by PSS-based nanofluids. However, PDADMAC-based nanofluids depicted different phenomenon in which this nanofluids does not show redox process clearly. On the other hand, dispersing nanoparticles could shift pure polyelectrolyte's cyclic profile. Due to the existence alumina and copper oxide nanoparticles into polyelectrolyte solution, a significant impact on electrochemical behavior can be provided. In the future attempts, polyelectrolyte-based nanofluids are expected to be able to serve as electro-active materials in suspension electrodes or nanoelectrofuels flow battery application.

Acknowledgment

We would like to thank to Institute for Research and Community Service (LPPM) of Sebelas Maret University Surakarta for supporting of the research funding under PNPB grant No. 624/UN27.11/PL/2015.

References

1. S. Suyitno, T.J. Saputra, A. Supriyanto, and Z. Arifin, *Spectrochim. Acta A* **148**, 99 (2015).
2. E.V. Timofeeva, J.P. Katsoudas, C.U. Segre, and D. Singh, *NSTI-Nanotech* **2**, 679 (2013).
3. A.Z. Weber, M.M. Mench, J.P. Meyers, P.N. Ross, J.T. Gostick, and Q. Liu, *J. Appl. Electrochem.* **41**, 1137 (2011).
4. S.K. Das, S.U.S. Choi, W. Yu, and T. Pradeep, *Nanofluids Science and Technology* (John Wiley & Sons, Inc., United States of America, 2008), pp. 1-10.
5. G.A. Longo and C. Zillio, *Int. J. Thermophys* **34**, 1288 (2013).
6. M.T. Naik and L.S. Sundar, *WASET* **59**, 440 (2011).
7. B. Kristiawan, S. Kamal, Suhanan, and Yanuar, *Proceedings of Invited Papers, SNTTM XI & Thermofluid IV*, Yogyakarta, 2012 (Department of Mechanical Engineering, Gadjah Mada University, 2012), Vol. 01, p. 634-640
8. B. Kristiawan, S. Kamal, Suhanan, and Yanuar, *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences* **10(10)**, 4385 (2015).
9. E.V. Timofeeva, W. Yu, D.M. France, D. Singh, and J.L. Routbort, *Nanoscale Res. Lett.* **6(182)**, (2011).
10. M. Kole and T.K. Dey, *Exp. Therm. Fluid Sci* **34**, 677 (2010).
11. S. Suyitno, S. Huda, Z. Arifin, and S. Hadi, *Adv. Sci. Lett.* **20(10-12)**, 2299 (2014).
12. R. Saidur, K.Y. Leong, and H.A. Mohammad, *Renew. Sust. Energ. Rev.* **15(3)**, 1646 (2011).
13. W. Yu, D.M. France, J.L. Routbort, and S.U.S. Choi, *Heat Transfer Eng.* **29(5)**, 432 (2008).
14. B. Kristiawan, S. Kamal, Suhanan, and Yanuar, *J. Nanofluids* **4(2)**, 187 (2015).
15. J.C. Farmer, U.S. patent 0291429 (2010).
16. J.P. Katsoudas, E.V. Timofeeva, D. Singh, V.K. Ramani, and C.U. Segre, *ECS Meeting Abstracts* **(1)**, 121 (2015).
17. S. Sen, E.V. Timofeeva, C.J. Pelliccione, J.P. Katsoudas, D. Singh, and C.U. Segre, *ECS Meeting Abstracts* **(1)**, 224 (2015).
18. I.M. Sadiq, S. Pakrashi, N. Chandrasekaran, and A. Mukherjee, *J. Nanopart. Res.* **13**, 3287 (2011).
19. A.J. Bard and L.R. Faulkner, *Electrochemical methods : fundamentals and applications* (John Wiley & Sons, Inc, United States of America, 2000), pp. 12-18.